

# 新型模拟计算机的研制

陈卫红<sup>1</sup> 夏伯锴<sup>1</sup> 胡长松<sup>1</sup> 黄德先<sup>2</sup>

- 1. 石油大学信息与控制工程学院自动化系(257061)
- 2. 清华大学自动化系 (102201)

### Abstract

This paper introduced the new electronics analog computer's design the principle, system hardware structure,function trait,and it's software design method by 8031 single-chip computer for control center,to pass the teaching practice, and to obtain the fair effect.

**Keywords:**the electronics analog computer,8031 single-chip computer,operational amplifier,control algorithm

### 摘要

本文介绍了新型电子模拟计算机的设计原理、系统硬件结构、功能特点,同时也介绍了以8031单片机为核心的控制中心的结构及软件设计方法,通过教学实践,取得了良好的效果。

**关键词:**电子模拟计算机,8031单片机,运算放大器,控制算法

电子模拟计算机由于具有经济性、安全性、实时模拟控制系统更加逼真等特点,在系统特性仿真研究中,仍然具有一定的价值。特别在全国高校教学和科研的仿真研究中扮演着重要的角色,因此,我们自行研制和开发了这套新型的电子模拟计算机,并成功的以8031单片机系统为控制中心完成了对模拟各部件的监视和控制功能,作到了“数字”与“模拟”的结合,取得了较为满意的效果。

## 1 设计思想

研制这套新型模拟计算机系统主要是针对自动化专业及相关专业的自动控制理论教学实验使用,因此整套系统所开设的实验内容应该有相当的广度和深度;针对学生在实验过程中容易发生误操作的问题,系统必须具有良好的自动保护功能,并且操作、使用方便;针对控制课程的特点,系统必须尽可能地提高控制精度。为了便于开设综合性、设计型实验项目和教师的科学研究使用,系统必须能模拟实现复杂的对象,在此基础上系统还应具有一定的开放性,便于实现一些新的控制算法。

结合学校实验经费紧张的情况,在保证实验精度的前提下,尽可能地提高系统的性能/价格比,在设计中尽量以软件来完成硬件功能,减少相关实验设备,真正实现“一机多用”的功能。

## 2 整体结构

### 2.1 硬件结构

硬件部分主要由五个主要部分构成即:控制器,运算器,信号源,报警与保护系统,测量单元等。下面分别作简单介绍。

1)控制器。控制器是整个模拟计算机系统的“指挥中心”,其硬件结构图如图1所示。

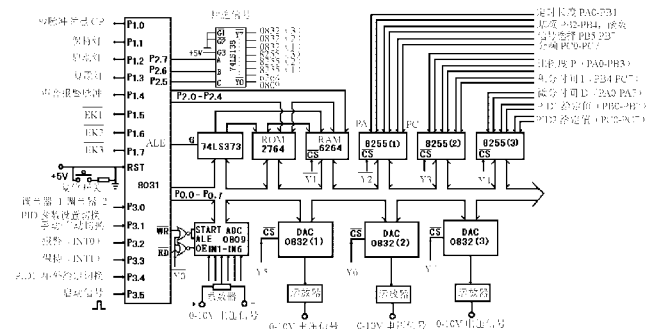


图1 模拟计算机控制器硬件结构图

控制器主要以8031单片机为核心,同时扩展了大量输入/输出接口芯片进一步增强其辅助功能,主要包括:

① 利用8031的P1口和P3口进行各种工作状态的选择与切换,同时接受外部中断请求(INT0和INT1)和输出控制各运算器的时序EK1、EK2、EK3,以及报警信号等。

② 模拟量数据采集部分。将ADC0809作为一个外部扩展I/O口,由74LS138的输出Y0与WR与非门(采用74LS00)后作为A/D转换的启动信号;同时与RD经与非门后作为A/D转换结果的读出控制信

号,ADC0809的时钟信号CLK由8031的ALE经D触发器提供,ADC0809的模拟量输入通道选择端A、B、C接373的A0、A1、A2,快速实时转换各通道数据,并存入数据存储器指定区域,模拟电压信号共有六路,便于采集多个点,每路均为标准的0~5V电压信号(由于运算器的输出为0~10V,每路经0.5系数器转换即可)。

③ 状态量数据采集部分。这部分工作由可编程并行接口8255完成,8255(1)用于输入信号选择、信号频率的改变以及定时长度的设置等状态量;8255(2)用于输入两路PID调节器(可通过P3.0切换开关选择PID1或PID2)的比例度P(0%~999%)和积分时间I(0~999秒);8255(3)用于输入微分时间D(0~99秒)和PID1给定值SV1及PID2给定值SV2,8255全部采用方式0工作状态。

④ 模拟量输出。这部分工作由数模转换(D/A)0832完成,0832(1)用来把各输入信号函数的数字信号转换成模拟信号,再通过LM741把电流转换成电压信号,输出各种实际波形;0832(2)用作PID1的输出;0832(3)用作PID2的输出,由于有两路PID控制器,因而可以作一些复杂控制。

2) 运算器。运算器包括积分器、比例器、系数器、逻辑部件和非线性部件等主要部件,是解题和仿真的主要运算部件,可以由此构成复杂的线性或非线性被控对象。其中积分器、比例器是运算器的核心。积分器的多少决定了整机解题或模拟控制系统的性能,是重要的性能指标。根据需要,我们选择了8个积分器,同时配置16个比例器及其它部件,可以模拟8阶控制系统。其原理图如图2和图3所示。

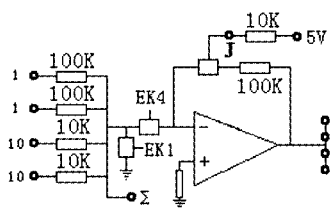


图2 比例器结构图

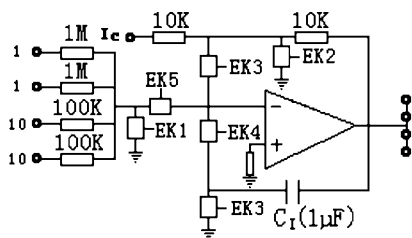


图3 积分器结构图

3) 信号源。模拟机用软件产生下列六种信号源可供需求选择。信号源包括:①阶跃函数(STE)②斜坡函数(RAM)③抛物线函数(PAR)④正弦函数(SIN)(频

率范围:0.01~1000Hz)⑤方波函数(SQU)(频率范围:0.01~1000Hz)⑥三角波函数(TRI)(频率范围:0.01~1000Hz)。

4) 报警与保护系统。当任何一个运算器输出电压超过±10V时,自动报警并进行限幅保护,同时对应单元的报警灯“亮”,喇叭鸣响。或当任何一个运算器输出电流过载时,模拟机自动进入输出保护状态,停止工作。

5) 测量系统。通过简单的外部连线,可定量测量任何运算器的输出信号、输入信号或控制信号(如PID调节器的输出值)等,测量系统有三种量程范围:±0.2V、±2.0V、±20V,根据具体情况由大到小的选择量程范围;同时也可以把各种电压信号送入示波器观察相应的实时曲线,便于进一步结果分析。

## 2.2 软件结构

由硬件分析可知,本系统各I/O口的统一地址编码为:ADC0809 1通道-0001H、2通道-0002H、3通道-0003H、4通道-0004H、5通道-0005H、6通道-0006H;RAM6264-2000H-3FFFH;8255(1) PA口-4000H、PB口-4001H、PC口-4002H、控制口-4003H;8255(2) PA口-6000H、PB口-6001H、PC口-6002H、控制口-6003H;8255(3) PA口-8000H、PB口-8001H、PC口-8002H、控制口-8003H;DAC0832(1)-A000H;DAC0832(2)-C000H;DAC0832(3)-E000H。为了便于编程和阅读,整个控制软件采用模块化程序设计方法,主要有主程序、数据采集处理子程序、PID1和PID2控制算法子程序、函数发生器(定时器T0中断),保持中断(INT1),报警中断(INT0),定时计数显示(定时器T1中断)等模块。限于篇幅下面作简要说明。

1) 主程序。流程框图如图4所示,它主要完成初始化工作,输入/输出控制,模块调用等,初始化工作完成堆栈设置、内存单元清零、标志单元设置、各中断设置、各I/O口工作方式设置等,主程序采用查询方式,初始化完成后一直处在等待响应状态,直至关机。

2) 数据采集处理子程序。本子程序在整个系统中承担了大量的工作,一方面进行相关数据采集;另一方面进行数据处理,把结果送入相应的数据存储器单元,作为测量值以便PID1和PID2控制算法子程序等调用。在数据采集时,为了提高数据质量,较好地去掉外界对采样值的干扰,提高数据可靠性,采用延时求平均值的办法,整个子程序中大量地调用了其它子程序,为了方便不再单列其它子程序框图,本子程序流程图如图5所示。

3) PID1和PID2控制算法子程序。控制算法模块是应用程序的核心模块,对控制效果有举足轻重的影响。值得指出的是,编制不同的控制模块,针对不同的

控制对象,可以进行不同控制算法的研究,如 PID 自整定算法、大林算法、模糊控制算法、预估控制算法等,为此我们在硬件的扩展上留有很大的空间(如多点的采集、大容量的数据存储器、多个模拟量输出等),同时在软件上也有标准接口,非常便于控制系统的研究,这也正是我们研制这套新型模拟计算机的初衷。现采用的控制模块由两路独立的 PID 模块组成,即 PID1 和 PID2,提供两路模拟量输出,便于实现复杂控制。其中 PID2 设为内给定(8255(3)的 PC 口内容),PID1 既可以设为内给定(8255(3)的 PB 口内容)也可以设为外给定(根据 P3.4 状态确定),为了便于学生理解, PID1 设为外给定时, PID1 给定值通过外部输入(内部设定当 PID1 设为外给定时, ADC0809 第六通道即 IN6 转换的结果为外给定值),而不是通过内部直接把 PID2 输出作为它的外给定(通过外部也可以实现),现采用的基本算法为带积分分离的 PID 算法。实际应用中,根据被控对象和控制要求,灵活地改变其结构,可形成 P、PI、PD、PID 控制,便于进行算法比较。为了提高运算精度,计算采用 3 字节浮点运算。计算结果再转化为对应的模拟量输出。运行前应预置比例度、积分时间、微分时间等控制参数,在控制过程中亦可改变这些参数,以获得最满意的效果。具体算法如下:

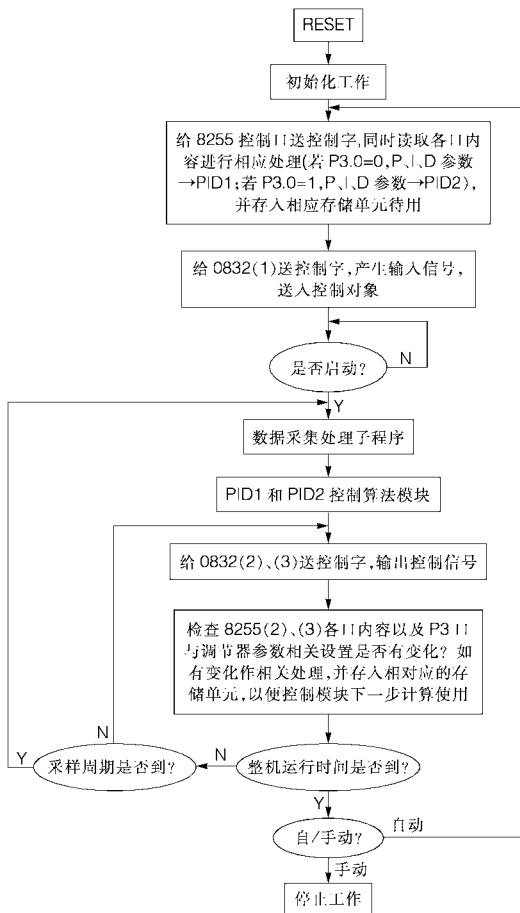


图 4 主程序流程图

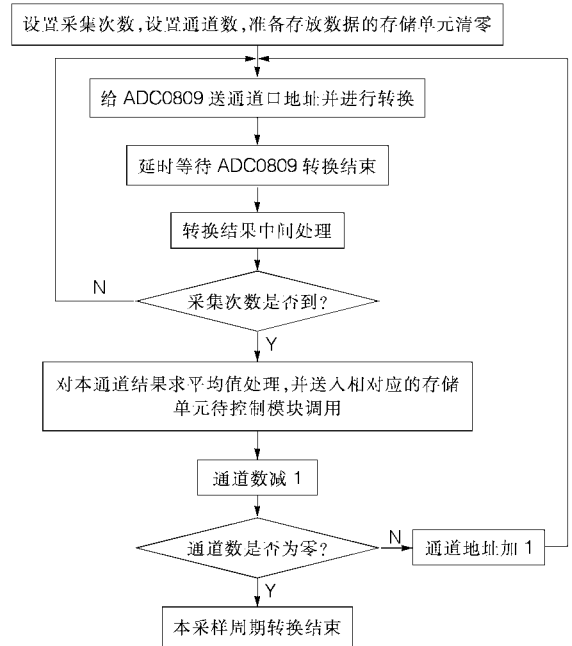


图 5 数据采集子程序流程图

控制算法采用增量 PID 算式,其离散形式为:

$\Delta u(k) = k_p \{ e(k) - e(k-1) + T/T_i e(k) + T_d/T [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \} = k_p [ \Delta e(k) + Ie(k) + D\Delta^2 e(k) ]$ ; 式中  $T$  为采样时间;  $T_i$  为积分时间;  $T_d$  为微分时间;  $k_p$  为比例系数;  $I = T/T_i$  为积分系数;  $D = T_d/T$  为微分系数,  $e(k)$ 、 $e(k-1)$ 、 $e(k-2)$ , 分别为  $k$  时刻、 $(k-1)$  时刻、 $(k-2)$  时刻的偏差值;  $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$ ;  $\Delta^2 e(k) = \Delta e(k) - \Delta e(k-1)$ 。实际输出  $u(k)$  为:  $u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$ , 为消除积分饱和的影响, 引入带积分分离的 PID 算法。综上所述,  $u(k)$  表达式可表示为:

$$u(k) = \begin{cases} u(k-1) + K_p [ \Delta e(k) + Ie(k) + D \cdot \Delta^2 e(k) ] & |e(k)| \leq \epsilon \\ u(k-1) + K_p [ \Delta e(k) + D \cdot \Delta^2 e(k) ] & \epsilon < |e(k)| \end{cases}$$

$\epsilon$  为积分投入门限;  $u(k-1)$  为  $(k-1)$  时刻输出值。

4) 定时器 T0 中断服务程序。是一个特殊的多功能信号发生器, 主要完成各种信号的选择, 不同频率的转换、查表, 把所得数据送入 0832(1) 输出所需要的信号, 可产生六种不同频率的信号源即: 阶跃函数 (STE)、斜坡函数 (RAM)、抛物线函数 (PAR)、正弦函数 (SIN) (频率范围: 0.01-1000Hz)、方波函数 (SQU) (频率范围: 0.01-1000Hz)、三角波函数 (TRI) (频率范围: 0.01-1000Hz)。

5) 定时器 T1 中断服务程序。主要用来控制整机的运算时间长度。

6) 保持中断。采用外部中断 INT1, 当采到“保持”信号后, 整机停止在当前工作状态, 便于观看一些控制过程的中间状态, 有利于控制系统的分析, 直到采到“启动”信号时再继续运算。

7) 报警中断。采用外部中断 INT0。当采到“报警”

信号后,立即发出指令,驱动声光报警系统,并且马上使整机处于保护状态,停机检查,直到排除故障,才能继续工作。

#### 4 主要功能特点

为了达到较高的性能/价格比,设计中尽量以软件来完成硬件功能。

1) 功能强:可求解 1-8 阶线性微分方程,也可以模拟 1-8 阶线性和非线性控制系统;具有运算定时功能;具有手/自动两种运算方式的选择和声光报警系统;自带“模拟”信号发生器和控制器,对控制系统分析更加方便。

2) 保护性能好,抗干扰能力强,具有过流、过压、超限等保护,同时在编程中采用了数字滤波技术,使数据更加真实、准确,整机性能更加稳定。

3) “模拟”信号发生器:通过软件编程技术产生多种不同频率、可变幅值的信号源,省下了原来的模拟信号发生器,并且具有改变信号灵活、方便的特点,因而取得了非常优越的性能/价格比。

4) “实用、开放”的控制器:自带两路数字 PID 调节器,省去了两块模拟调节器,实验连线更加简捷,实验成本降低,进一步提高了本系统的性能/价格比;同时在此基础上针对不同的控制对象,编制不同的控制模块,进行控制算法的研究,因而具有一定的“开放性”。根据调研至少比同类型的模拟计算机便宜约 3 千元。

#### 参考文献

- 1 MCS-51 单片机原理与应用[M].上海:复旦大学微机开发与应用研究室编,1988
- 2 李朝青.单片机原理及接口技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,1999
- 3 何立民.单片机应用系统设计[M].北京:北京航空航天大学出版社,1990
- 4 赵依军,胡戎.单片微机接口技术[M].湖北:人民邮电出版社,1989
- 5 中国半导体器件数据手册[M].上海:中国半导体器件数据手册编辑部,1989

[收稿日期:2002.2.28]

(上接第 21 页)

⑤ 递推:  $h_0=h_1, h_{c0}=h_{c1}$ , 转①。

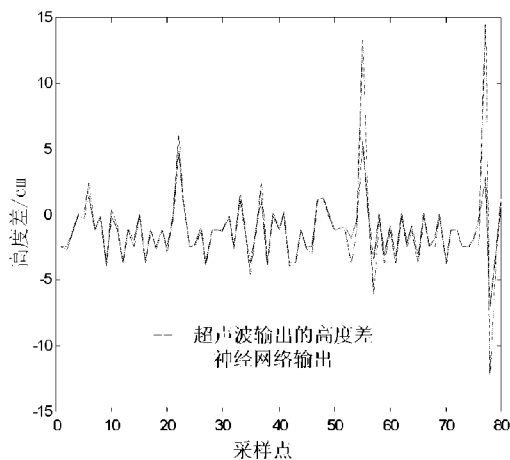


图 3 软测量值输出值与实际高度差的仿真结果比较

这种方法的优点在于超声波检测和神经网络修正互补,不会造成较大的煤位高度检测误差。但在煤位低于 30%时超声波的输出不准确,不能作为学习信号,故此时采用查煤量与高度的对应表来求取煤仓此时的煤位高度。图 4 超声波检测的煤位高度和经过神经网络输出的高度差修正后的煤位高度的比较。

从仿真的结果表明,基于神经网络的软测量估计值能够有效地消除超声波检测产生地尖峰脉冲现象,从而保证了设备的正常运行。

#### 4 结束语

由于神经元网络能任意逼近非线性对象,具有较

强的泛化能力,因此基于神经网络的软测量技术是解决工业过程中的难以在线测量的变量估计问题的有效方法。在不增加或少增加投资的条件下,软测量技术为火电厂煤位高度的检测提供了一种新的手段。

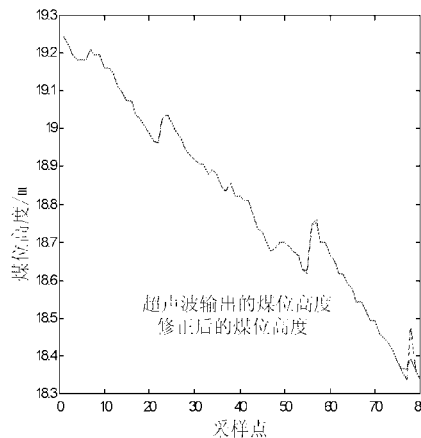


图 4 超声波实际输出和修正后煤位高度的仿真结果比较

#### 参考文献

- 1 韩璞,王东风,翟永杰.基于神经网络的火电厂烟气含氧量软测量.信息与控制,2001(4)
- 2 俞金寿.软测量技术在石油化工中的应用.石油化工,2000(3)
- 3 王永骥,涂健.神经网络控制.北京:机械工业出版社,1998
- 4 王树青,等.先进控制技术及应用.北京:化学工业出版社,2001
- 5 从爽.面向 MATLAB 工具箱的神经网络理论与应用.合肥:中国科学技术大学出版社,1998

[收稿日期:2002.2.21]